

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): KOBAYASHI, et al.
Serial No.: Not yet assigned
Filed: June 23, 2003
Title: POSITIONING CONTROL DEVICE FOR TWO-STAGE ACTUATOR
Group: Not yet assigned

LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY

Honorable Commissioner of
Patents and Trademarks
Washington, D.C. 20231

June 23, 2003

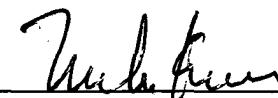
Sir:

Under the provisions of 35 USC 119 and 37 CFR 1.55, the applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on Japanese Patent Application No.(s) 2002-182324, filed June 24, 2002.

A certified copy of said Japanese Application is attached.

Respectfully submitted,

ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP



Melvin Kraus
Registration No. 22,466

MK/alb
Attachment
(703) 312-6600

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2002年 6月24日

出願番号

Application Number:

特願2002-182324

[ST.10/C]:

[JP2002-182324]

出願人

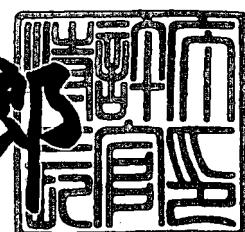
Applicant(s):

株式会社日立製作所

2003年 3月25日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3020144

特2002-182324

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 特許願

【整理番号】 1502001461

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G11B 21/10

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社 日立製作所
機械研究所内

【氏名】 小林 正人

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会社 日立
製作所 ストレージ事業部内

【氏名】 沼里 英彦

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社 日立製作所
機械研究所内

【氏名】 奥山 淳

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社 日立製作所

【代理人】

【識別番号】 100075096

【弁理士】

【氏名又は名称】 作田 康夫

【電話番号】 03-3212-1111

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013088

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【書類名】 明細書

【発明の名称】 二段アクチュエータの位置決め制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】

情報を有するディスクと、前記ディスクの情報を読み出しあるは情報の書き込みを行うヘッドと、前記ヘッドを支持し前記ヘッドを位置決めする微動アクチュエータと、前記微動アクチュエータを搭載し前記ヘッドを位置決めする粗動アクチュエータと、前記ヘッドが読み出した情報から得られるヘッド位置信号に基づき前記粗動アクチュエータを制御する粗動用制御手段とを有する二段アクチュエータの位置決め制御装置において、

前記粗動用制御手段に周波数 f_n の遮断フィルタを設け、前記微動アクチュエータを周波数 f_n で駆動する指令値を与える目標値発生手段と、前記微動アクチュエータの操作信号と前記ヘッド位置信号とから前記微動アクチュエータのゲインを推定する適応同定手段を有することを特徴とする二段アクチュエータの位置決め制御装置。

【請求項2】

前記適応同定手段は、前記微動アクチュエータの特性を表す同定モデルと、推定すべき前記微動アクチュエータのゲインを表す可変ゲインと、前記同定モデルと可変ゲインを積算した同定モデルの出力信号と、前記同定モデルの出力信号と前記ヘッド位置信号との偏差が減少するように前記可変ゲインを調整する適応調整手段を有することを特徴とする請求項1に記載の二段アクチュエータの位置決め制御装置。

【請求項3】

前記周波数 f_n で駆動する指令値は、正弦波状の目標値であることを特徴とする請求項1に記載の二段アクチュエータの位置決め制御装置。

【請求項4】

情報を有するディスクと、前記ディスクの情報を読み出しあるは情報の書き込みを行うヘッドと、前記ヘッドを支持し前記ヘッドを位置決めする微動アクチュエータと、前記微動アクチュエータを搭載し前記ヘッドを位置決めする粗動ア

クチュエータと、前記ヘッドが読み出した情報から得られるヘッド位置信号に基づき前記粗動アクチュエータを制御する粗動用制御手段とを有する二段アクチュエータの位置決め制御装置において、

前記位置信号の応答波形と、前記微動アクチュエータの応答波形が一致している状態で、前記微動アクチュエータの操作信号と前記ヘッド位置信号とから前記微動アクチュエータのゲインを推定することを特徴とする二段アクチュエータの位置決め制御装置。

【請求項5】

情報を有するディスクと、前記ディスクの情報を読み出しましくは情報の書き込みを行うヘッドと、前記ヘッドを支持し前記ヘッドを位置決めする微動アクチュエータと、前記微動アクチュエータを搭載し前記ヘッドを位置決めする粗動アクチュエータと、前記ヘッドが読み出した情報から得られるヘッド位置信号に基づき前記微動アクチュエータと前記粗動アクチュエータを制御する制御手段とを有する二段アクチュエータの位置決め制御装置において、

前記粗動アクチュエータへの操作量と前記粗動アクチュエータのモデルを用いて、前記粗動アクチュエータの位置を推定する粗動用同定モデルと、前記ヘッド位置情報から前記粗動用同定モデルの出力信号を引算することで得られる前記微動アクチュエータの推定位置信号を具備し、前記微動アクチュエータの操作量と前記微動アクチュエータの推定位置信号とから前記微動アクチュエータのゲインを推定する適応同定手段を有することを特徴とする二段アクチュエータの位置決め制御装置。

【請求項6】

前記適応同定手段によって推定した微動アクチュエータのゲインが所定の値よりも小さくなった場合には、前記ヘッドは前記ディスクに情報の書き込みを禁止することを特徴とする請求項1又は5に記載の二段アクチュエータの位置決め制御装置。

【請求項7】

前記適応同定手段によって推定した微動アクチュエータのゲインに基づき微動アクチュエータの制御手段を調整することを特徴とする請求項1又は5に記載の

二段アクチュエータの位置決め制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、磁気ディスク装置や光ディスク装置などのディスク装置に関するもので、高応答小ストロークの微動アクチュエータと、低応答大ストロークの粗動アクチュエータとを協調させて高精度な位置決め動作を実現するディスク装置において、特に、微動アクチュエータの入出力特性を同定することができる二段アクチュエータの位置決め制御技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

ディスク装置、例えば磁気ディスク装置においては、高密度に記録された情報を高速でアクセスするために、アクチュエータによって駆動される磁気ヘッドを目的のトラックへ高速に移動させ（シーク制御）、目的のトラック中心に高精度に追従させる（フォロイング制御）ことが要求される。このためには、アクチュエータの軽量化および位置決め制御系の高帯域化が必要となるが、軽量化すると剛性が低下するためにアクチュエータの機構共振周波数を上げることには一定の限界があり、位置決め制御系の帯域はこれによって制限される。

【0003】

現在の磁気ディスク装置のトラック幅は $0.5 \mu\text{m}$ 程度であり、位置決め精度は $0.05 \mu\text{m}$ 程度である。将来の磁気ディスク装置に要求されるトラック幅は $0.2 \mu\text{m}$ 以下であり、その時の位置決め精度は $0.02 \mu\text{m}$ 以下を達成しなければならない。この位置決め精度を達成するには、制御系の帯域を現状の 1kHz 程度から 3kHz 以上に拡大する必要がある。制御帯域を拡大する技術として、ボイスコイルモータで構成される粗動アクチュエータと、ピエゾ素子等で構成される微動アクチュエータとを組み合わせて磁気ヘッドを高精度に位置決めする二段アクチュエータ方式が知られている。通常、ピエゾ素子等で構成される微動アクチュエータに印加する最大電圧は、 $\pm 30\text{V}$ 程度で、そのとき、ヘッド位置は約 $\pm 1 \mu\text{m}$ 移動する。しかし、その印加電圧とヘッド移動量の関係は、ピエゾ素子の製造ばらつきや、

経時変化、温度や湿度等の動作環境によってばらつく。

【0004】

従来より、例えば、特開2000-285621号公報には、微動アクチュエータの入出力特性を推定する位置決め制御技術が開示されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

二段アクチュエータは、粗動アクチュエータへの印加入力と微動アクチュエータへの印加入力の二つの操作量を有する。一方、出力信号は、粗動アクチュエータの移動量と微動アクチュエータの移動量の加算した移動量がヘッド位置信号となる。実際には、後に詳述するが、ディスクに予め記録された位置情報とヘッド移動量の偏差を検出して、それを出力信号としている。よって、制御対象としての、二段アクチュエータは、2入力1出力系であり、微動アクチュエータの入出力特性を推定するにはなんらかの工夫が必要となる。粗動アクチュエータの入出力特性を推定するには、微動アクチュエータに動作電圧を印加せず、粗動アクチュエータのみ動作させることで、制御対象は1入力1出力系となり、従来の同定手法を用いることで容易に粗動アクチュエータのゲインを推定することは可能である。しかし、微動アクチュエータの入出力特性を推定するために、粗動アクチュエータを動作させず、微動アクチュエータのみでヘッドを位置決め動作させることは、アクチュエータに作用する種々の外乱の大きさに対し微動アクチュエータの移動量が限られていることから実現が困難である。よって、アクチュエータの出力であるヘッド位置信号には、常に粗動アクチュエータの移動量と微動アクチュエータの総和の移動量が観測されることになる。

【0006】

上記従来技術のなかで特開2000-285621号公報は、粗動アクチュエータの特定周波数の誤差圧縮率（感度関数）のゲインを測定し、次に、微動アクチュエータの駆動入力信号とヘッド位置信号の先の特定周波数におけるゲインを測定し、先に求めた粗動アクチュエータの誤差圧縮率のゲインと掛け算することで微動アクチュエータのゲインを推定する手法を提案している。このように推定にあたって二つのステップが必要であることと、ゲインを推定するにあたりフーリエ変換の

手法を用いていることから推定時間と推定精度の点で問題があった。さらに、推定時には、正弦波状の外乱入力信号を微動アクチュエータに印加しなければならず、その際にはヘッドはデータの読み書きを実施できないといった問題があり、多くの課題が残されている。

【0007】

本発明の第一の目的は、微動アクチュエータの入出力特性を高速にかつ高精度に推定する適応同定手段を実現することである。

本発明の第二の目的は、ヘッドがデータの読み書きを実施している際にも微動アクチュエータの入出力特性を推定し、微動アクチュエータのゲイン劣化等を監視する適応同定手段を実現することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は、情報を有するディスクと、前記ディスクの情報を読み出しあるは情報の書き込みを行うヘッドと、前記ヘッドを支持し前記ヘッドを位置決めする微動アクチュエータと、前記微動アクチュエータを搭載し前記ヘッドを位置決めする粗動アクチュエータと、前記ヘッドが読み出したヘッド位置情報に基づき前記粗動アクチュエータを制御する粗動用制御手段とを有する二段アクチュエータの位置決め制御装置において、前記粗動用制御手段に周波数 f_n の遮断フィルタを設け、前記微動アクチュエータを周波数 f_n で駆動する指令値を与える目標値発生手段と、前記微動アクチュエータの操作信号と前記ヘッド位置信号とから前記微動アクチュエータのゲインを推定する適応同定手段を有する二段アクチュエータの位置決め制御装置を提供する。

適応同定手段は、前記微動アクチュエータの特性を表す同定モデルと、推定すべき前記微動アクチュエータのゲインを表す可変ゲインと、前記同定モデルと可変ゲインを積算した同定モデルの出力信号と、前記同定モデルの出力信号と前記ヘッド位置信号との偏差が減少するように前記可変ゲインを調整する適応調整手段とを備えるとよい。

上記構成において、周波数 f_n で駆動する指令値は、正弦波状の目標値とするとよい。

また本発明は、情報を有するディスクと、前記ディスクの情報を読み出しあし
くは情報の書き込みを行うヘッドと、前記ヘッドを支持し前記ヘッドを位置決め
する微動アクチュエータと、前記微動アクチュエータを搭載し前記ヘッドを位置
決めする粗動アクチュエータと、前記ヘッドが読み出したヘッド位置情報に基づ
き前記粗動アクチュエータを制御する粗動用制御手段とを有する二段アクチュエ
ータの位置決め制御装置において、前記ヘッド位置信号の応答波形と、前記微動
アクチュエータの応答波形が一致している状態で、前記微動アクチュエータの操
作信号と前記ヘッド位置信号とから前記微動アクチュエータのゲインを推定する
二段アクチュエータの位置決め制御装置を提供する。

また本発明は、情報を有するディスクと、前記ディスクの情報を読み出しあし
くは情報の書き込みを行うヘッドと、前記ヘッドを支持し前記ヘッドを位置決め
する微動アクチュエータと、前記微動アクチュエータを搭載し前記ヘッドを位置
決めする粗動アクチュエータと、前記ヘッドが読み出したヘッド位置情報に基づ
き前記微動アクチュエータと前記粗動アクチュエータを制御する制御手段とを有
する二段アクチュエータの位置決め制御装置において、前記粗動アクチュエータ
への操作量と前記粗動アクチュエータのモデルを用いて、前記粗動アクチュエー
タの位置を推定する粗動用同定モデルと、前記ヘッド位置情報から前記粗動用同
定モデルの出力信号を引算することで得られる前記微動アクチュエータの推定位
置信号を具備し、前記微動アクチュエータの操作量と前記微動アクチュエータの
推定位置信号とから前記微動アクチュエータのゲインを推定する適応同定手
段を有することを二段アクチュエータの位置決め制御装置を提供する。

適応同定手段によって推定した微動アクチュエータのゲインが所定の値よりも
小さくなった場合には、前記ヘッドは前記ディスクに情報の書き込みを禁止する
ようにするとよい。

適応同定手段によって推定した微動アクチュエータのゲインに基づき微動アク
チュエータの制御手段を調整するようにするとよい。

本発明により、高精度に推定した微動アクチュエータのゲインに基づいて、微
動アクチュエータ用のコントローラを適切に再設計することができ、高精度なヘ
ッドの位置決めを達成できる。これによりトラック間距離を狭くすることができ

るので、ディスク一面あたり大量のデータを記録することができ、装置の大容量化が実現できる。また、本発明により、微動アクチュエータのゲイン劣化を検出することができるので、ゲイン劣化に対応して処置を適切に実施することで、装置の信頼性を高めることができると実現できる。

【0009】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の一実施例を図面により詳細に説明する。発明者らは、制御対象の二段アクチュエータが2入力1出力系であることを踏まえ、出力信号であるヘッド位置信号から粗動アクチュエータの移動量を特定周波数において零にする手法を発明した。これにより、微動アクチュエータの駆動入力信号とヘッド位置信号とから正確に微動アクチュエータの入出力特性を推定することができる。この本第一の発明を図1から図6までを用いて説明する。次に、粗動アクチュエータのモデルを用い、出力信号であるヘッド位置信号から粗動アクチュエータの移動量を差し引くことで、微動アクチュエータの駆動入力信号とヘッド位置信号とから正確に微動アクチュエータの入出力特性を推定する手法を発明した。この第二の発明を図7から図8までを用いて説明する。

【0010】

図1に本第一の発明に係わるフォロイング制御系のブロック線図の一実施例を示す。制御対象の二段アクチュエータは、粗動アクチュエータ40と微動アクチュエータ41の二つのアクチュエータを有する。粗動アクチュエータへの操作量を $U_v:49$ 、微動アクチュエータへの操作量を $U_p:50$ とする。観測することはできないが、粗動アクチュエータの移動量を $Y_v:43$ 、微動アクチュエータの移動量を $Y_p:42$ とする。観測できるヘッドの移動量は、上記 Y_v と Y_p を加算した $Y:45$ である。これより、制御対象の二段アクチュエータ系44は、2入力1出力系であることが分かる。

【0011】

粗動アクチュエータは通常のフォロイング時に使用する通常の粗動用コントローラ47でヘッドの位置決めを行う。例えば、粗動用コントローラは、PI-Leadフィルタや、機構共振のゲインを抑圧するノッチフィルタ等によって構成される。

本発明では、これに、遮断周波数 f_n を有する別のノッチフィルタ48を粗動アクチュエータループに挿入する。このノッチフィルタの役割は、粗動ループに周波数 f_n の信号成分を除去する働きを有する。このことは、観測できるヘッド位置 Y の周波数 f_n の全ての成分は微動アクチュエータの出力 Y_p からなることを意味する。ここで、微動アクチュエータを目標値発生器51を用いて、例えば正弦波（周波数： f_n ）で駆動させることを行う。微動アクチュエータの操作量 $U_p:40$ には周波数 f_n 、振幅 A_n の駆動信号が印加される。この時、微動アクチュエータは、周波数 f_n 、振幅 B_n 、そして微動アクチュエータの周波数 f_n における位相遅れ特性分だけ位相の遅れた正弦波状に移動を行う。実際に観測できる信号はヘッド位置信号 Y であり、それを粗動用コントローラにフィードバック制御する。フィードバックループへの目標値46はここでは零とする。

【0012】

粗動アクチュエータ44と粗動用コントローラ47の積である開ループ特性の帯域（零クロス周波数）は、1 kHz 程度である。よって、粗動ループの安定性の観点から、ノッチフィルタ48の遮断周波数を決定する必要がある。ノッチフィルタは位相を遮断周波数より低い周波数では遅らせることから、帯域の1 kHz よりも低い周波数に設定すると位相余裕が減少し、ループが不安定化する場合がある。ここでは、帯域より高い2 kHz にノッチフィルタの遮断周波数 f_n を設定する。

【0013】

図3および図4に上記に基づき設計を行った、粗動ループの開ループ特性と誤差圧縮特性（感度関数）の一例を示す。図3の開ループ特性は、図1において、偏差62から粗動アクチュエータの出力 Y_v までの特性である。帯域 1 kHz、位相余裕 30 度で安定な特性を示し、ノッチフィルタの挿入により周波数 f_n でゲインが小さくなっている（遮断されている）ことが確認できる。図4の誤差圧縮特性は、目標値46からフィードバック偏差62までの特性を表している。また、同様に、この誤差圧縮特性は、微動アクチュエータの出力 $Y_p:42$ からヘッド位置信号 $Y:45$ までの伝達特性を表している。従来技術においては、求めた微動アクチュエータのゲイン特性にこの誤差圧縮特性を積算して補正することで、微動ア

クチュエータのゲインを求めていた。本発明によると、周波数 f_n において、その誤差圧縮特性のゲイン特性は零となり、位相特性も同様に零となっていることが分かる。すなわち、微動アクチュエータを周波数 f_n で動作させれば、粗動ループは、ゲインの増減をせず、かつ位相の進み遅れをしないことを意味する。

【0014】

このことを実際の時間応答波形を用いて説明する。微動アクチュエータに±10 V、2 kHzの正弦波電圧を印加したときの、粗動アクチュエータの位置 Y_v を図5の上段に、微動アクチュエータの位置 Y_p を図5の下段に示す。ノッチフィルタ48の過渡特性（応答の収束性）の関係で、粗動アクチュエータは0.003秒までは応答をするが、それ以後は応答が零に収束していることが確認できる。微動アクチュエータは、±3.0 Vで±1 μ m移動するとしているので、ここでは、±0.33 μ mの振幅で応答している。この時、観測できるヘッド位置信号 Y を図6の上段に示す。0.003秒後のヘッド位置信号 Y の応答は、図5の下段の微動アクチュエータの位置 Y_p と完全に一致していることが分かる。

【0015】

これより、本第一の発明によると、微動アクチュエータへ正弦波を印加してから、ノッチフィルタの過渡特性が収束した後に、微動アクチュエータへの操作量とヘッド位置信号とから微動アクチュエータの入出力特性をなんらかの同定手段で推定すればよいことが分かる。

【0016】

以下、図1の同定手段の詳細を説明する前に、図2を用いて、本第一の発明に関わるディスク装置の一実施例を示すハードウェアの構成を説明する。磁気ディスク2は、スピンドルモータ1により高速に一定回転し、トラックのセクタの先頭にはあらかじめ位置情報3が記録されている。磁気ヘッド4は、対向するディスク2のデータを読み書きする。磁気ヘッド4は、ばね5によって支えられ、ばね5は、ピエゾ素子6とピエゾ素子7によって駆動され、ピエゾ素子6、7はキャリッジ8に支持される。本実施例では、微動アクチュエータをピエゾ素子で構成するとして説明を行う。ピエゾ素子6が伸び、ピエゾ素子7が縮むと、ヘッド4は微小移動す

る。逆に、ピエゾ素子6が伸び、ピエゾ素子7が縮むと、ヘッド4は逆方向に微小移動する。キャリッジ8は一体となってボイスコイルモータ10により駆動される。ボイスコイルモータの移動にともない、キャリッジは、ピボット軸9を中心にディスク2の外周から内周方向あるいはその逆方向に移動する。なお、本実施例では、ピエゾ素子を微動アクチュエータ、ボイスコイルモータを粗動アクチュエータとして記述している。

【0017】

ディスク2には、時刻T s 毎に位置情報3を予め記録させておく。位置情報3は、セクタの先頭を示すマーカ部、AGC(オートマティック・ゲイン・コントロール)引き込み部、トラック番号、相対位置を検出するためのバースト信号を記録する。ヘッド5はサンプリング時刻T s 毎にディスク面に記録された位置情報とヘッドとの偏差を検出する。その偏差信号は、ヘッドアンプ11で増幅し、位置信号復調回路12により、ヘッド位置信号Y:13を生成する。

【0018】

図2において、図1の粗動用コントローラ47の演算やノッチフィルタ48、目標値発生器51、および同定手段61は、マイクロプロセッサシステム19によって実施される。マイクロプロセッサシステム19は、マイクロプロセッサ18がバスライン14を介して、RAM(ランダムアクセスメモリ)17、ROM(読み出し専用メモリ)16に接続されている。ROMには各種制御系などのプログラムを格納する。RAMは、制御系の状態変数や可変ゲインを一時的に格納する。マイクロプロセッサは、各種制御系の演算を実行し、粗動用アクチュエータを駆動する操作量20と微動用アクチュエータを駆動する操作量21を出力する。操作量U_p:21、U_v:20は、それぞれD/A変換回路23、22でデジタル量からアナログ量に変換され、アンプ27、26に送出され、それぞれピエゾ素子6、7、ボイスコイルモータ10が駆動される。コマンドインターフェイス15は、上位コントローラからの各種指令をマイクロプロセッサ18に伝達する。

【0019】

以下では、図1の同定手段について数式を用いて詳細に説明する。ここでは、逐次型最小二乗法適応調整器を用いて、微動アクチュエータのループゲインを推

定する。操作量 U_p とヘッド位置信号 Y は同じフィルタによりノイズ成分を除去する。望ましくは、遮断周波数 f_n のみを通過するバンドパスフィルタが好適である。なお、以下では、記号の簡略化のため、フィルタ通過後の信号も U_p および Y として使用する。操作量 U_p から出力 Y_p までの微動アクチュエータの離散時間モデルを次式とする。微動アクチュエータは機構共振を有するが無視し、ここでは演算時間遅れを1次Pade近似したものとアンプを1次遅れモデルとしたものとの積の二次系で構成する。

【0020】

【数1】

$$Y_p(k) = kp \frac{b_1 z + b_0}{z^2 + a_1 z + a_0} U_p(k) \quad \dots \dots \quad (\text{数1})$$

ここで、 k はステップ数、 z は進み演算子とする。制御対象のループゲイン k_p は、 D/A変換器のゲイン、アンプのゲイン、微動アクチュエータのゲインとからなり、以下この k_p の推定法を示す。 (数1) は、以下の同定表現に書き表される。

【0021】

【数2】

$$\begin{aligned} Y_p(k) &= kp(b_1 U_p(k-1) + b_0 U_p(k-2)) \\ &\quad + (-a_1 Y_p(k-1) - a_0 Y_p(k-2)) \\ &= kp \cdot \zeta(k) + \eta(k) \quad \dots \dots \quad (\text{数2}) \end{aligned}$$

目的は、 $Y_p(k)$ と $\zeta(k)$ と $\eta(k)$ から k_p のよい近似値（推定値）である可変ゲイン $k_p(k)$: 58 を推定することである。ここでは逐次型最小二乗法により k_p の推定を行う。なお、 $Y_p(k)$ とヘッド位置誤差 $Y(k)$ は、図5および図6より、一定時刻後は等しくなる。よって、上式において、 $Y_p(k) = Y(k)$ として観測できるヘッド位置誤差信号 $Y(k)$ を用いて k_p を推定すればよい。数2の同定表現に対し、以下の同定モデル56を構成する。

【0022】

【数3】

$$Yh(k) = kp(k-1) \cdot \zeta(k) + \eta(k) \quad \dots \quad (\text{数3})$$

ここで、同定誤差59を次式と定める。

【0023】

【数4】

$$e(k) = Yp(k) - Yh(k) \quad \dots \quad (\text{数4})$$

このとき、適応調整則57は、次式のアルゴリズムを用いて可変ゲイン： $k_p(k)$ の更新を行う。

【0024】

【数5】

$$kp(k) = kp(k-1) + \frac{\gamma(k-1) \cdot \zeta(k)}{1 + \gamma(k-1) \cdot \zeta(k)^2} e(k) \quad \dots \quad (\text{数5})$$

なお、学習ゲイン $\gamma(k)$ の更新は次式とする。

【0025】

【数6】

$$\gamma(k) = \frac{\gamma(k-1)}{1 + \gamma(k-1) \cdot \zeta(k)^2} \quad \dots \quad (\text{数6})$$

推定値 $k_p(k)$ の初期値は任意だが、ここでは零とする。学習ゲイン $\gamma(k)$ の初期値は、100程度に設定する。これを小さくすると推定値の分散が抑えられるが、逆に収束速度が遅くなる。

【0026】

上記の適応同定手段61によって微動アクチュエータのゲインを推定した結果を図6の下段に示す。推定は、0.003秒から開始した。推定値は、正しい値の0.05にわずか0.001秒程度で高精度に収束することが分かる。これにより、本発明の有効性を確認することができた。この推定結果を用いて、微動用コントローラ72のゲインや微動用モデル71のゲインを調整することができる。また、複数のヘッ

ドが存在し、それぞれに対し微動アクチュエータによって位置決めを行うディスク装置の場合には、それぞれの微動アクチュエータのゲインを上記手法により推定することができる。また、推定結果をメモリに格納し、さらには、ディスク面に記録させることによって電源を切断した後でも推定値の情報を保持することができる。これらの作業は、装置組立て後、製造過程で実施することができる。また、ユーザがディスク装置の電源を入れた後に実施することができる。さらには、上位ホストからデータの読み書きの指令がなく、待機状態のときに実施することができる。しかし、微動アクチュエータを制御せず、正弦波で駆動するため、データの読み書きしている最中には本第一の発明を実施することはできない。

【0027】

なお、微動アクチュエータの出力Yp:42が二段アクチュエータの構造によっては、測定できる場合がある。その場合には、図1のノッチフィルタ:48は不要で、目標値発生器:51は任意の周波数を発生し、適応同定手段:61は、微動アクチュエータへの操作信号:50と微動アクチュエータの出力信号:42とから、微動アクチュエータのゲインを推定すればよい。

【0028】

以下では、図7と図8を用いて本第二の発明を詳細に説明する。図1の構成と異なる点は、図1で粗動ループに挿入したノッチフィルタ:48と目標値発生手段:51であり、これらは本第二の発明では不要である。図7では、正弦波等で微動アクチュエータを加振することなしに、ヘッドがディスク面の情報を読み書きしている最中にも、微動アクチュエータのゲインを推定する手段を提供する。以下では、微動アクチュエータ用のコントローラ72と粗動アクチュエータ用のコントローラ47とを独立に設計可能な、非干渉構造の二段アクチュエータ制御系の設計について示す。ただし、本発明は、二段アクチュエータの構成を特に限定するものではない。

【0029】

微動アクチュエータは、通常、高域の10kHz程度に機構共振を有する。微動用アクチュエータ用のコントローラ72には、積分特性を持たせれば、微動アクチュエータを安定に動作可能である。ここでは微動アクチュエータの出力が直接観測

できないため、微動用アクチュエータのモデルをオブザーバ71としてその位置を推定する。ピエゾ素子を用いた微動アクチュエータは、その入力から出力までは、ほぼゲインとして近似することができる。よって、微動用制御器の出力に微動アクチュエータのゲインを乗じたものを微動アクチュエータの出力とみなして、粗動アクチュエータへの偏差信号に加算する70。粗動用コントローラは微動アクチュエータにより偏差信号が零となった後でも引き続き微動アクチュエータの変位量を減少させるようにフィードバック制御が行われる。これに伴って微動用制御器も動作するので、ヘッド位置誤差信号を目標位置に保ったまま、微動アクチュエータの出力が減少し、やがて零、すなわち可動範囲の中心位置に微動アクチュエータを保持することができる。これにより、ストロークが狭く限られた微動アクチュエータの能力を最大限に生かすことができる。

【0030】

以下では第二の発明の適応同定手段88について説明する。微動アクチュエータの操作量 U_p :73とヘッド位置信号 Y :45および粗動アクチュエータの操作量 U_v :49は同じフィルタによりノイズ成分を除去する。なお、以下では、記号の簡略化のため、フィルタ通過後の信号も U_p と Y および U_v として使用する。微動アクチュエータのゲイン推定の考え方は、第一の発明と変わることはない。図7において、観測できるヘッド位置信号 Y の応答は、微動アクチュエータの出力信号 Y_p と粗動アクチュエータの出力信号 Y_v の加算した信号の応答からなる。よって、微動アクチュエータのみのゲインを推定するためには、微動アクチュエータの出力信号を算出する必要があり、そのためには、観測できるヘッド位置信号 Y :45から粗動アクチュエータの出力信号 Y_v :30を引算すればよい。粗動アクチュエータの出力信号は観測することができないので、ここでは粗動アクチュエータのモデル79を用いて粗動アクチュエータの出力位置を推定する82。粗動アクチュエータは通常、ボイスコイルモータとキャリッジからなり、その基本的な特性は、二重積分系である。粗動用同定モデル79は、それを離散時間表現して用いる。さらに、演算時間遅れを考慮したり、高次に機構共振を考慮するとよりモデルの精度が向上する。

【0031】

微動用同定モデル81、推定する微動アクチュエータの可変ゲイン86、および適応調整器83は、第一の発明を同一の手段（（数1）から（数6））を用いることができる。

【0032】

なお、（数5）と（数6）は、逐次型最小二乗法の演算アルゴリズムであり、計算過程に割り算等が含まれており、ディスク面のデータを読み書きしている際に、さらに演算負荷を増大させる可能性がある。よって、以下では、計算負荷が小さい勾配法に基づいた適応調整器を示す。目的は、誤差 e :85を最小とすることであるから、評価関数 J を次式で定義する。

【0033】

【数7】

$$J(k) = e^2(k) \quad \dots \quad (\text{数7})$$

上記評価関数の偏微分をとると、可変ゲイン k_p :86の推定式は以下のように得られる。

【0034】

【数8】

$$\begin{aligned} kp(k) &= kp(k-1) - \sigma \frac{\partial J(k)}{\partial Kp(k)} \\ &= kp(k-1) + 2\sigma \cdot \zeta(k) \cdot e(k) \quad \dots \quad (\text{数8}) \end{aligned}$$

これより、（数5）（数6）と上記（数8）を比較すると、演算量は（数8）が極端に少ない。このため、リアルタイム演算が可能となる。その反面、推定精度が多少悪化したり、推定速度が遅くなる問題が生じる。ここで σ は、学習ゲインである。

【0035】

図8に、本第二の発明の有効性を検討するために、（数8）を用いて微動アクチュエータのゲインを推定した結果を示す。約0.1秒で真値の0.05に収束しているのが分かる。これは、第一の発明の例として示した最小二乗法による推定結果

と比較すると遅い。しかしながら、微動アクチュエータの経時変化を推定する場合には、特に問題となることはない。0.5秒からは、微動アクチュエータのゲインを意図的に、0.05から0.04に変化させてみた時の応答を示している。精度良く推定できていることが分かる。なお、図中、0.1秒毎の線：200,201等は、その区間の推定結果の平均値を示している。推定結果から平均値を求め、その平均値に対して、微動アクチュエータのゲインの劣化を比較することでより推定の信頼性を向上させることができる。

【0036】

図9は、第二の発明により微動アクチュエータのゲイン低下を検出した際の処理フローを示している。ゲイン低下が予め定めた閾値よりも小さくなつた時：100には、データの読み書きを禁止する：101。次に、第一の発明により微動アクチュエータの正確なゲインを推定する：101。その値が閾値よりも大きかつたら：103、推定した結果に基づき微動用コントローラを調整し、データの読み書きを許可するフラグを立てる：105。これにより通常の状態に戻る。たとえば、微動アクチュエータのゲインが劣化した場合には、逆に、粗動アクチュエータのコントローラのゲインを増大させればよい。一方、閾値よりも小さかつた場合には：103、上位コントローラに警告を発し、ゲインが劣化した微動アクチュエータで読み書きしていたディスク面のデータを読み出し、他のディスク面に記録する：104。閾値よりも小さくなつた場合には、データの読み書きができなくなる可能性があり、また、微動アクチュエータがなんらかの要因により故障した可能性が考えられる。よって、本発明により、それらの要因を除外することが可能となり、装置信頼性が向上する。

【0037】

本発明は微動アクチュエータのゲインを推定するものであるが、微動アクチュエータを動作させない場合には、本発明の適応同定手段と同一のアルゴリズムを用いて粗動アクチュエータのループゲインを推定することができる。その場合には、図1において、ノッチフィルタ48を取り除き、目標値46に正弦波を印加し、微動用の操作量Uvとヘッド位置信号Yとから適応同定手段を働かせればよい。同一のアルゴリズムを用いることでソフト量の削減が可能となる。

【0038】

なお、上述した実施例では、磁気ディスク装置を取り上げたが、本発明は、他の記憶媒体、例えば、光ディスクやDVD-RAMを用いる場合にも同様に実現が可能である。光ディスクやDVD装置などは、実施例で説明したように、粗動アクチュエータと微動アクチュエータを備え、本第一の発明と本第二の発明を適用する好適な例の一つである。また、他の二つ以上のアクチュエータを持つ位置決め制御装置においても同様な理由により実施が可能である。

【0039】

また、本実施例では微動アクチュエータをピエゾ素子として説明したが、本発明はその形態に制限を受けない。すなわち、微動アクチュエータを電磁アクチュエータ、静電アクチュエータなどに置き換えるても本発明は実施可能である。

【0040】

さらに、粗動アクチュエータ、微動アクチュエータ、そしてさらに軽量で高応答な極微動アクチュエータを有する三段アクチュエータに対しても、三段アクチュエータの微動アクチュエータを上述した実施例の粗動アクチュエータに、三段アクチュエータの極微動アクチュエータを実施例の微動アクチュエータに置き換えることで同様に実施可能である。すなわち、本発明はアクチュエータの個数による制限は受けない。

【0041】

また、上述した実施例では、いくつかの数値を具体化して説明したが、本発明は、これらの数値による制限は受けない。

【0042】

【発明の効果】

本発明では、高応答小ストロークの微動アクチュエータと、低応答大ストロークの粗動アクチュエータとを有する二段アクチュエータにおいて、微動アクチュエータの入出力特性を高速にかつ高精度に推定する適応同定手段を実現できる。また、本発明では、ヘッドがデータの読み書きを実施している際にも微動アクチュエータの入出力特性を推定し、微動アクチュエータのゲイン劣化等を監視する適応同定手段を実現できる。本発明により、高精度に推定した微動アクチュエー

タのゲインに基づいて、微動アクチュエータ用のコントローラを適切に再設計することができ、高精度なヘッドの位置決めを達成できる。これによりトラック間距離を狭くすることができるので、ディスク一面あたり大量のデータを記録することができ、ディスク装置の大容量化が実現できる。また、本発明により、微動アクチュエータのゲイン劣化を検出することができるので、ゲイン劣化に対応して処置を適切に実施することで、装置の信頼性を高めることが実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本第一の発明の一構成を示す図。

【図2】本発明のディスク装置のハードウェアの構成図。

【図3】本第一の発明の粗動ループの開ループ特性を示す図。

【図4】本第一の発明の粗動ループの誤差圧縮特性を示す図。

【図5】本第一の発明の粗動アクチュエータ位置と微動アクチュエータ位置の時間応答を示す図。

【図6】本第一の発明のヘッド位置と微動アクチュエータのゲイン推定結果の時間応答を示す図。

【図7】本第二の発明の一構成を示す図。

【図8】本第二の微動アクチュエータのゲイン推定結果の時間応答を示す図。

【図9】本発明の動作ステップ手順を示すフローチャート。

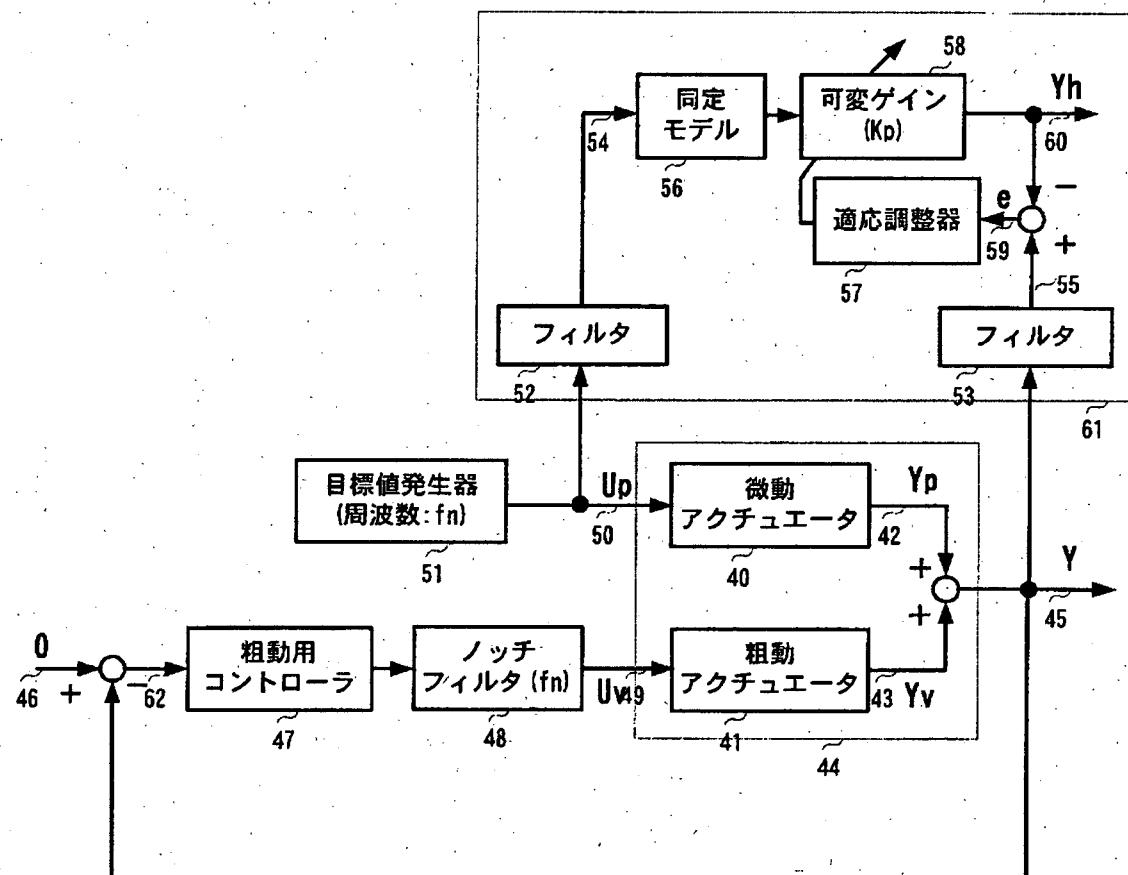
【符号の説明】

1…スピンドル、2…ディスク、3…位置情報、4…ヘッド、6、7…ピエゾ素子、10…ボイスコイルモータ、13…ヘッド位置信号、19…マイクロプロセッサシステム、40…微動アクチュエータ、41…粗動アクチュエータ、47…粗動用コントローラ、48…ノッチフィルタ、51…目標値発生器、57…適応調整器、58…可変ゲイン（推定値）、61…適応同定手段、71…微動用モデル、72…微動用コントローラ、83…適応調整器、86…可変ゲイン（推定値）、88…適応同定手段。

【書類名】 図面

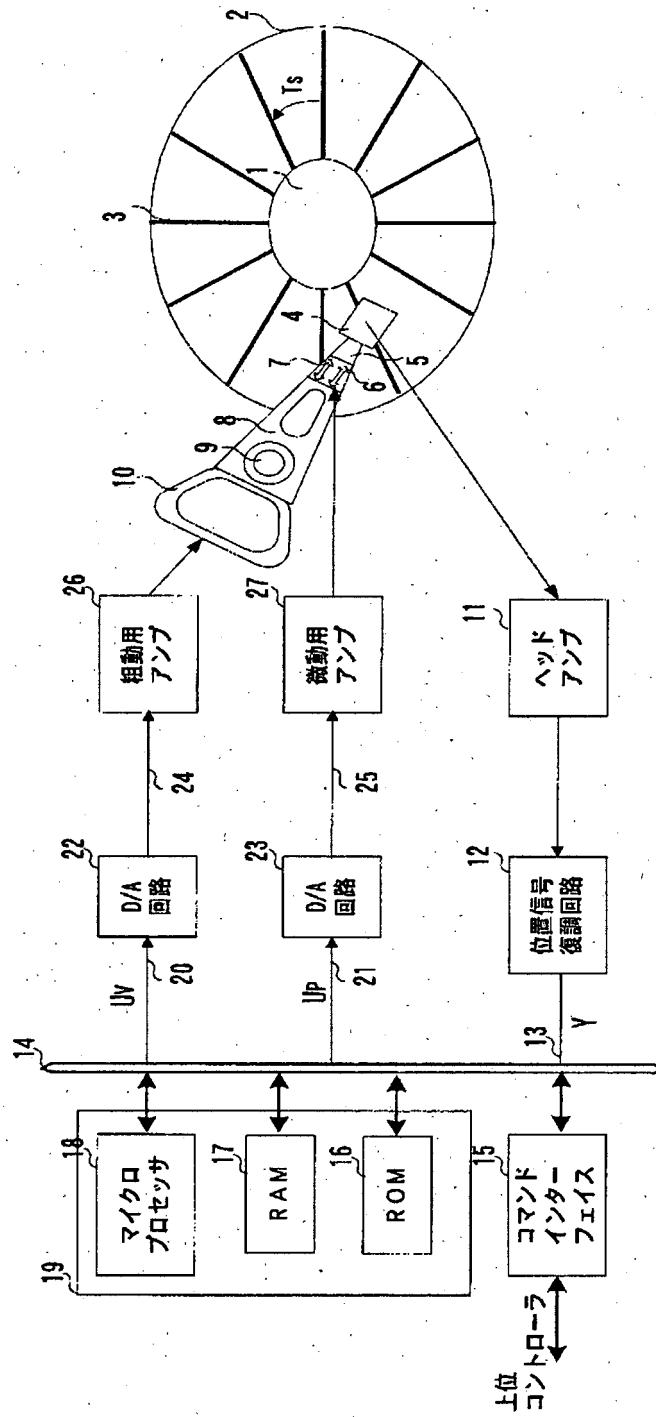
【図1】

図1



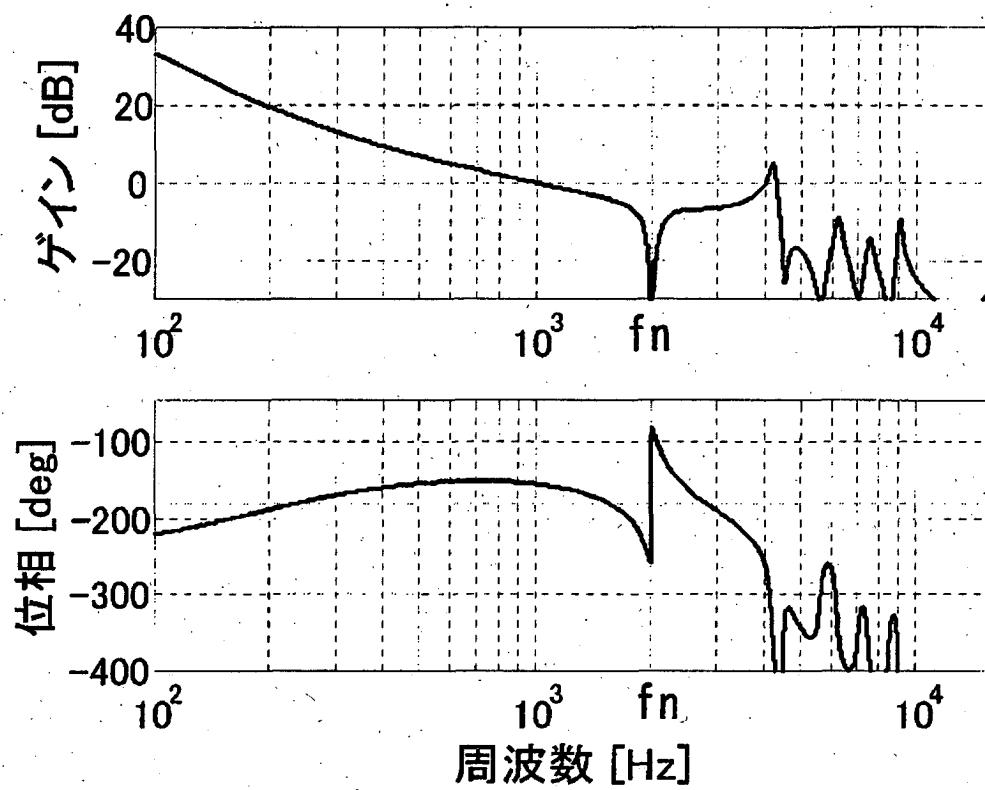
【図2】

2



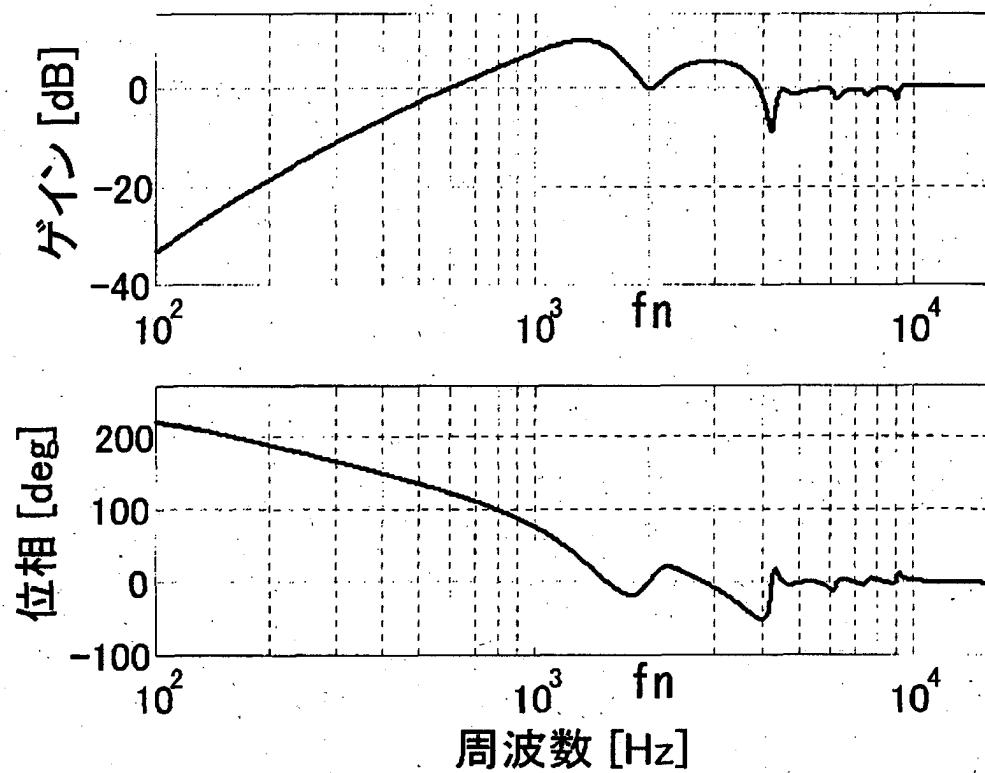
【図3】

図3



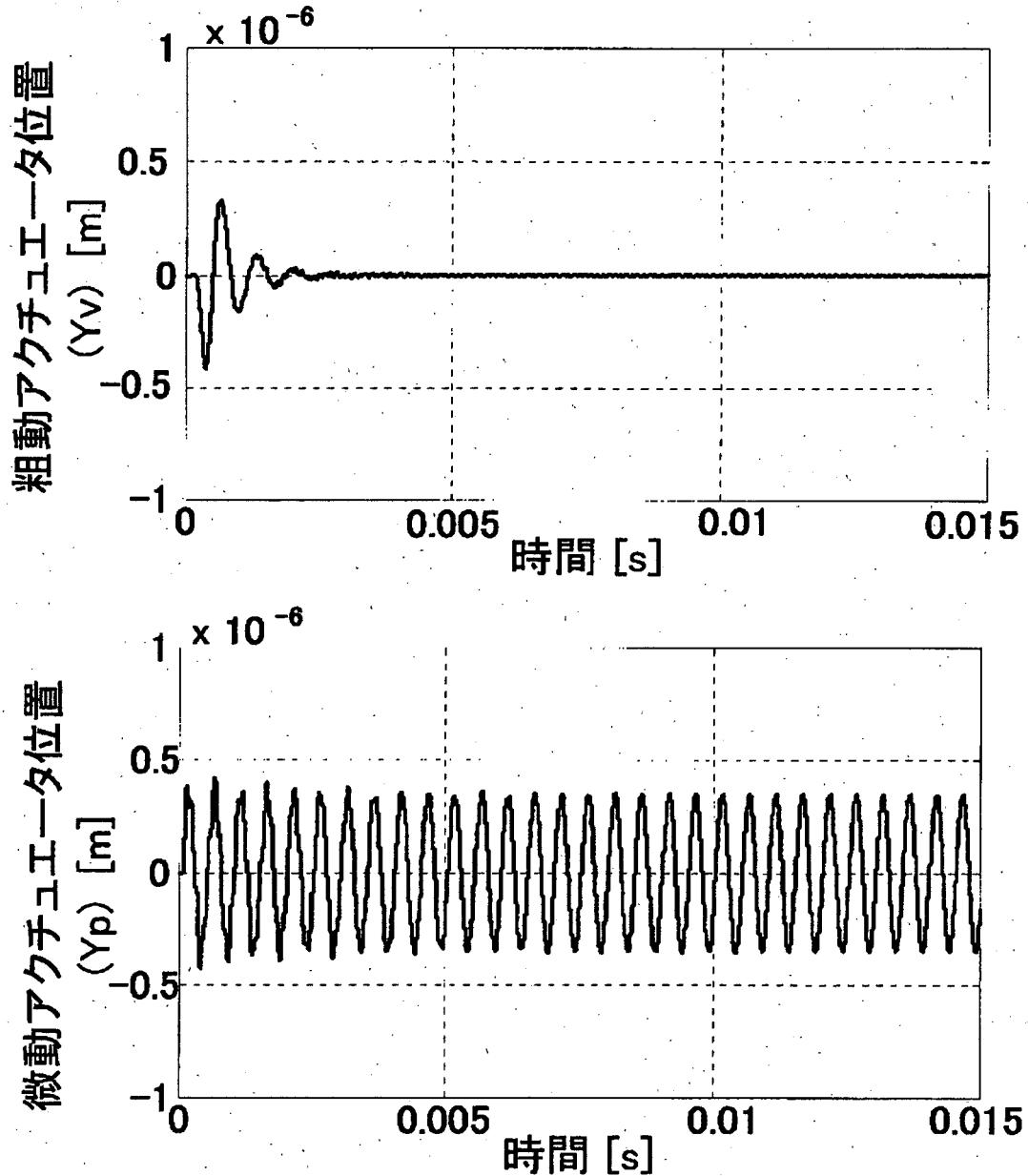
【図4】

図4



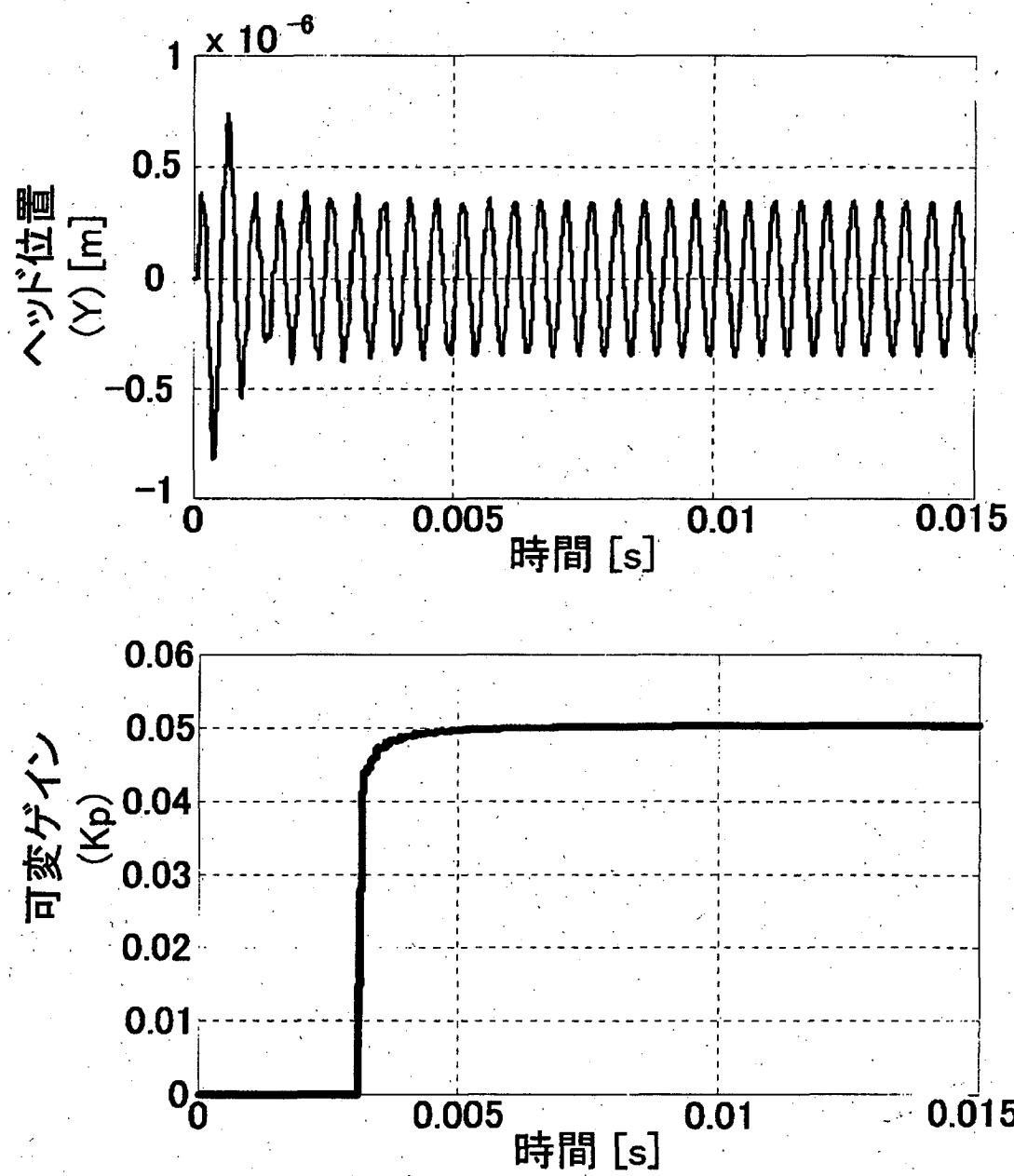
【図5】

図5



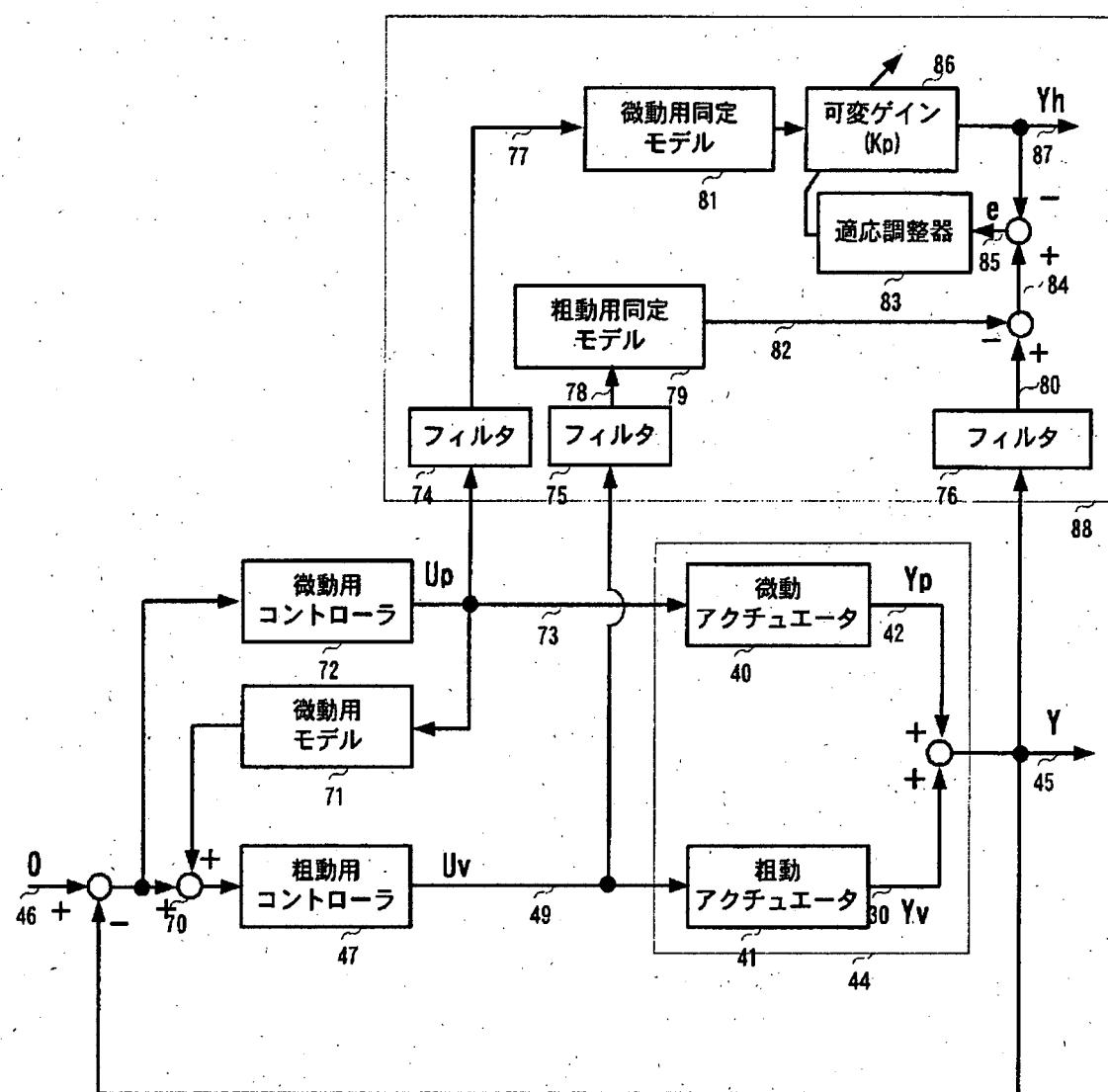
【図6】

図6



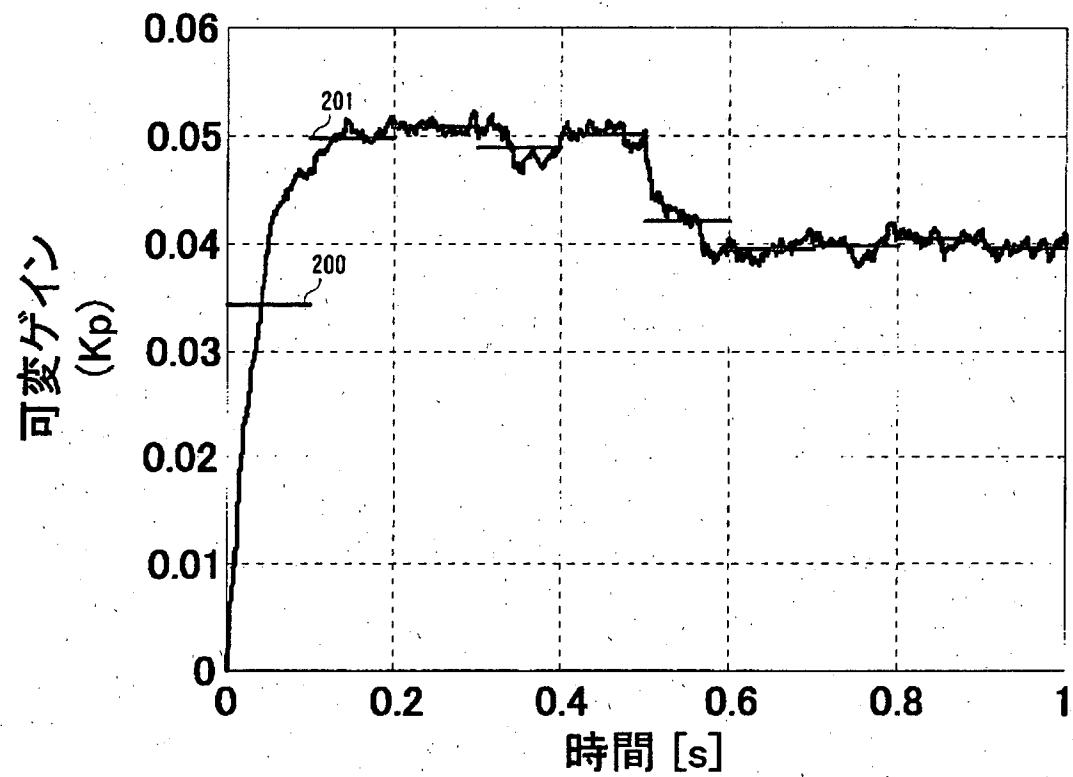
【図7】

7



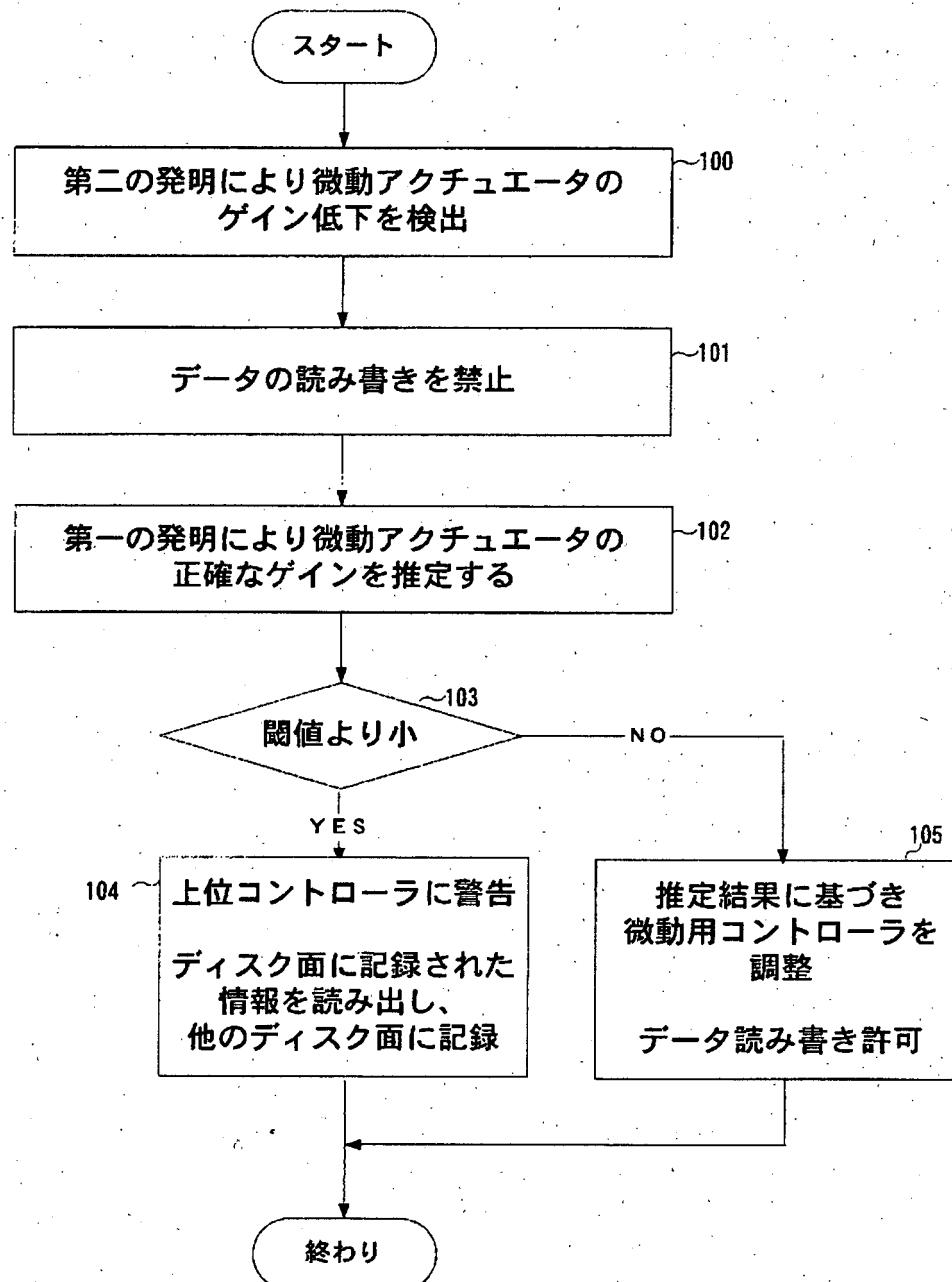
【図8】

図8



【図9】

図9



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 二段アクチュエータにおいて、微動アクチュエータの入出力特性を高速にかつ高精度に推定する適応同定手段を備えるディスク装置を提供する。

【解決手段】 粗動用制御ループに周波数 f_n のノッチフィルタ48を設け、微動アクチュエータ40を周波数 f_n で正弦波状に駆動する。ヘッド位置信号 Y_{45} の f_n 周波数における信号は微動アクチュエータの出力信号42と等しくなる。よって、微動アクチュエータの操作信号 U_{p50} とヘッド位置信号 Y_{45} とから前記微動アクチュエータのゲインを適応同定手段61により高精度に推定できる。

【選択図】 図1

認定・付加情報

特許出願の番号 特願2002-182324

受付番号 50200912355

書類名 特許願

担当官 第八担当上席 0097

作成日 平成14年 6月25日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成14年 6月24日

出願人履歴情報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

氏 名 株式会社日立製作所